DOI:10.11931/guihaia.gxzw201909007

不同施氮水平对苦荞不同品种生长发育、干物质转运和产量的影响

夏美娟，白文明，黄启鹏，张伟丽，高立城，任慧莉，高金锋*

（旱区作物逆境生物学国家重点实验室/西北农林科技大学，陕西 杨凌 712100）

摘 要： 该研究以西农 9940 和黔苦 3 号为材料，设置（N1）90、（N2）180、（N3）270 kg·hm^{-2} 三个氮肥处理水平，分析不同施氮量处理对两个苦荞品种的生长、营养器官干物质积累转运和施氮量对籽粒灌浆特性和产量的影响。探究不同苦荞品种在黄土高原旱作区对氮肥的敏感性及高产栽培氮肥施用技术。结果表明：随施氮量的增加，（1）促进生长发育，显著增加株高，提高叶片 SPAD 值，且均以 N3 处理最高，显著高于 N1 和 N2 处理；黔苦 3 号的株高、SPAD 值明显优于西农 9940；（2）显著提高茎、叶、地上部干物质的积累量，且基本呈"S"型趋势，在盛花期到灌浆期达到最大值；（3）提高西农 9940 茎叶干物质转运率，但降低黔苦 3 号茎叶干物质转运率，提高了对籽粒的贡献率；（4）灌浆天数增加，最大灌浆速率到达时间延长，籽粒最大灌浆速率和平均灌浆速率降低，百粒重呈下降趋势。与黔苦 3 号相比，西农 9940 灌浆速率更快，灌浆持续时间更短，粒重更大；（5）产量及其构成因素均呈先增加后减少的趋势，但品种间表观不同。西农 9940 的产量以 180 kg·hm^{-2} 处理的最高，为 1 650.0 kg·hm^{-2}，较 N1、N3 处理增产了 45.6%和 28.2%；黔苦 3 号的产量以 90 kg·hm^{-2} 最优，为 616.7 kg·hm^{-2}，较 N2、N3 处理增产了 12.8%和 51.6%。单株花簇数、单株粒数的增加，并不会引起单株粒重降低，显著降低千粒重。单株粒重对苦荞产量水平的提高发挥了十分重要的作用。在黄土高原旱作农业区苦荞选育种植因品种不同而选择最佳施氮量，本研究建议为西农 9940 最佳施氮量为 180~ 270 kg·hm^{-2}，黔苦 3 号最佳施氮量为 90~180 kg·hm^{-2}。

关键词： 苦荞；施氮量；生长发育；干物质转运；籽粒灌浆；产量

中图分类号：S517　　文献标识码：A　　文章编号：

Effects of different nitrogen levels on growth, dry matter transport and yield of different tartary buckwheats

XIA Meijuan, BAI Wenming, HUANG Qipeng, ZHANG Weili, GAO Licheng, REN Huili, GAO Jinfeng*

(*College of Agronomy/State Key Laboratory of Crop Stress Biology for Arid-Areas，Northwest A&F University*，Yangling 712100 , China)

Abstract: We used Xinong 9940 and Qianku 3 as materials to set three nitrogen

---

收稿日期： 2019-11-07

基金项目： 国家自然科学基金（31671631）；西北农林科技大学科技创新项目（Z2220219014）；陕西科技重点研发计划项目（2018 TSCXL-NY-03-04）[Supported by the National Natural Science Foundation of China (31671631); Northwest A & F University Science and Technology Innovation Program(Z2220219014)；Shaanxi Science and Technology Key R & D Program (2018 TSCXL-NY-03-04)]。

作者简介： 夏美娟（1994-），女，甘肃省天水人，作物学硕士，研究方向为作物栽培与耕作学，（E-mail）2631630429@qq.com。

***通信作者：** 高金锋，博士，副教授，硕士生导师，研究方向为作物高产高效优质栽培、杂粮品质栽培、育种及产业化，(E-mail)gaojf7604@126.com。

fertilizer treatment levels (N1)90, (N2)180, (N3)270 kg·hm^{-2}, to discuss the effects of different nitrogen application rates on the growth, dry matter accumulation and transport of vegetative organs and nitrogen application rate on grain filling characteristics and yield of two tartary buckwheat. The results were as follows with the increase of nitrogen application rate, (1) promoted growth and development, significantly increased plant height and SPAD value, and the heighest treatment with N3, significantly higher than N1 and N2 treatment; Qianku 3 was significantly better than Xinong 9940; (2) significantly increased the accumulation of dry matter in stems, leaves and shoots, and basically showed and "S"-type trend, reaching a maximum during the flowering period to the filling stage; (3) improved the dry matter transport rate of stems and leaves of Xinong 9940, but reduced Qianku 3, and increased the contribution rate to the kernels; (4) increasing the number of grouting days, prolonging the maximum filling rate arrival time, reducing the maximum grain filling rate and average grain filling rate, and the 100-grain weight showed a downward trend. Compared with Qianku 3, Xinong 9940 had a faster rate, shorter grouting duration and greater grain weight; (5) both the yield and its constituent factors increased first and then decreased, but the varieties were different. The yield of Xinong 9940 was the highest at 180 kg·hm^{-2}, which was 1650.0 kg·hm^{-2}, which was 45.6% and 28.2% higher than that of N1 and N3 treatments. The yield of Qianku 3 was 90 kg·hm^{-2}, which was 616.7 kg ·hm^{-2}, which increased yield by 12.8% and 51.6% compared with N2 and N3. The increase in the number of flower clusters per plant and the number of individual plants did not reduce the grain weight per plant and significantly reduced the 1000-grain weight. The weight per plant has played an important role in improving the yield of tartary buckwheat. In the dry farming area of the Loess Plateau, buckwheat breeding and planting depend on the variety of buckwheat, and the optimum amount of nitrogen application is selected. The best nitrogen rate of Xinong 9940 is 180~270 kg·hm^{-2}, and the optimum nitrogen rate of Qianku 3 is 90~180kg·hm^{-2}.

Key words: tartary buckwheat, nitrogen rate, growth, dry matter transport, grain filling, grain yield

苦荞（*Fagopyrumtataricum*（L.）），属蓼科（Polygonaceae）荞麦属（*Fagopyrum*），为荞麦属的两个栽培种之一（林汝法，1994）。苦荞广泛种植在我国西南部的云南、贵州、四川的大小凉山地区以及北方黄土高原地区，是种植区人民生产生活中不可或缺的粮食和饲料作物（赵钢等，2001），其因营养丰富，含有其他粮食作物未有的芦丁等药用成分，而具有降血脂、降血压、降胆固醇、软化血管等作用，是一种极具开发和利用价值的重要健康食物源（莫日更朝格图等，2010）。因生育期短、耐贫瘠、适应性强，苦荞也被作为一种救灾备荒作物，但由于产量低，极大地限制了苦荞的生产利用。

在植物生长中，氮素是限制植物生长和产量形成的首要因素，能够促进荞麦根、茎、叶等营养器官的生长。土壤氮素供应的高低，直接关系作物产量的高低（Hu et al.，2008；Roy & Singh，2003）。在荞麦生产中，合理施用氮肥既能实现荞麦高产（向达兵等，2013），又可以促进荞麦对干物质和养分的积累（白文明等，2019）。一定范围内增加施氮量，荞麦植株氮吸收及籽粒含氮量显著增加，生育期缩短，株高、有效分支数、茎粗和节间长度增加（唐超等，2016）。侯迷红等（2017）研究表明，施氮改变荞麦干物质积累量及在各器官中的分配比例。通过施氮肥可以改变作物叶绿素含量、干物质积累及源库关系，从而影响作物品质、提高产量的作用（赵凯男等，2019；白文明等，2019；张玉春等，2018；隋鹏祥等，2018）。而 Schulte 等（2005）研究表明施氮对荞麦产量无明显提高，反而加重荞麦的倒伏。作物产量的高低不仅与作物的种类有关，还与品种和环境有关（张美微等，2016；汪燕等，2017）。因此，通过挖掘荞麦自身遗传潜力，找出不同品种荞麦达到高产的适宜施氮水平是节肥增产的有效途径。目前，关于施氮对苦荞的研究主要集中在氮肥

对苦荞农艺性状、产量及其构成因素以及品质的影响（向达兵等，2015；向达兵等，2017；Zhang et al.，2019），而关于氮肥对苦荞品种间生长发育、干物质转运和籽粒灌浆特性的研究却鲜有报道。本研究通过设置 3 个施氮水平和 2 个黄土高原旱作区主栽苦荞品种，研究不同施氮量对不同苦荞品种生长发育、营养器官干物质转运、籽粒灌浆特性及产量的影响，旨在探讨施氮对苦荞生长发育变化、干物质转运分配规律和籽粒灌浆特性的研究，探究黄土高原旱作区苦荞种植的最佳施氮量，为该地区苦荞品种引种、良种选育、高产优质栽培技术提供技术支撑。

1　材料与方法

1.1 试验区概况

试验于 2018 年 7~10 月在西北农林科技大学榆林小杂粮示范基地（37°56′26″N，109°21′46″E，海拔 1 229 m）进行，属黄土高原丘陵沟壑区，多年平均降水量 400 mm，且降水主要集中在 7 月至 9 月。试验区为典型的干旱半干旱大陆性季风气候，年平均气温为 11 ℃，最高气温 36.3 ℃，最低气温-25.7 ℃。试验地土壤为沙壤土，地势平坦、肥力均匀。试验浅耕层（0~20 cm）土壤养分状况如下：土壤有机质 6.1 g·kg^{-1}，全氮 0.61 g·kg^{-1}，速效磷 39.9 mg·kg^{-1}，速效钾 221.1 mg·kg^{-1}，pH 为 8.6。

1.2 试验设计

试验设两个品种西农 9940（西北农林科技大学小杂粮课题组提供）和黔苦 3 号（贵州省农科院提供），3 个施氮水平（N1）90、（N2）180、（N3）270 kg·hm^{-2}，以空白（N0）为对照。采用裂区设计，主区为品种，副区为施氮水平。小区面积 10 m^2（2 m×5 m），每小区 6 行，行距 30 cm，株距 5 cm，4 次重复，共 32 个小区，随机区组排列。磷肥施用量为 37.5 kg·hm^{-2}，钾肥施用量为 37.5 kg·hm^{-2}，作基肥一次性施入。氮肥为尿素（内蒙古博大实地化学有限公司生产，总氮（N）≥46.0%），按基肥:追肥=1:1 施入。于 2018 年 7 月 13 日播种，2018 年 10 月 1 日收获。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 生长发育指标

在不同生育期测定苦荞植株的株高和叶绿素含量。株高用量尺测定从茎基部到叶顶端的距离；叶绿素含量利用 SPAD-叶绿素仪测定苦荞功能叶的 SPAD 值来表征。

1.3.2 营养器官干物质积累及转运

采用烘干称重法进行测定。于苦荞苗期开始，选择生长一致且具有代表性的苦荞植株挂牌标记。于苗期、初花期、盛花期、灌浆期和成熟期等时期各小区分别选取 5 株代表性单株，按照茎、叶、籽粒等不同器官分装入袋，置于 105 ℃烘箱内杀青 30 min，然后于 80 ℃烘干至恒重后称量，计算地上部各器官干物质转运率和对籽粒的贡献率（张琳琳等，2018；刘奇华等，2016）。营养器官转运量=营养器官干物质量-成熟期营养器官干物质量

营养器官转运率（%）=营养器官干物质转运量/营养器官最大干物质量×100%

营养器官对籽粒的贡献率（%）=营养器官干物质转运量/成熟期籽粒干物质量×100%

开花期每小区选取 100 个生长一致且花期相同的籽粒标记，从开花后第 5 天开始，间隔 5 d 随机选取籽粒 200 粒，105 ℃杀青 20 min，然后在 80 ℃下烘至恒定质量。参照朱庆森等（1988）的方法用 Logistic 方程 $Y=a/(1+be^{-kt})$拟合籽粒质量增加过程，以开花后天数（t）为自变量，以籽粒灌浆过程百粒重（Y）为因变量。其中 t 是开花后天数，Y 是百粒重，方程中 a 为终值量，b 是初值参数，k 是生长速率参数。对其求一阶导数和二阶导数，得到灌浆速率方程和次级灌浆参数，所得参数分别为灌浆天数(T)；籽粒平均灌浆速率(V)；最大灌浆速率到达时间(Tmax)；最大灌浆速率(Vmax)；T1、T2、T3 分别表示籽粒灌浆渐增期、快增期和缓增期持续天数。

1.3.3 产量及其构成因素

成熟期在各小区选取 5 株进行考种，测定单株花簇数、单株粒重、单株粒数和千粒重等，产量按实际收获产量计算。

1.4 数据统计分析

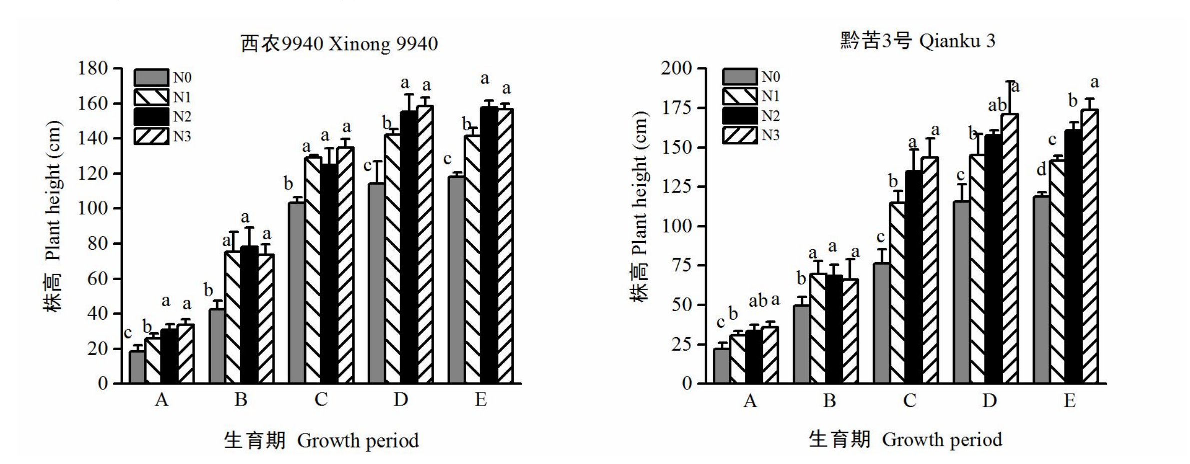
利用 Microsoft Excel 2010 进行数据整理；SPSS 19.0 对数据进行方差分析和处理间显著性检验和方程拟合；利用 Origin 2015 作图。

2 结果与分析

2.1 不同施氮水平对苦荞生长发育的影响

2.1.1 不同施氮水平对苦荞不同生育时期株高的影响

图 1 可知，随着生育期的推进，各处理条件下苦荞株高均呈不断增长趋势，并表现出前期迅速增长，后期增长缓慢，且施氮处理均显著高于空白对照，但不同品种间，因氮素水平的不同有差异。西农 9940 自苗期至成熟期，N2、N3 处理条件下株高并无显著性差异，表明该品种 N2 处理已满足苦荞植株生长发育需要。黔苦 3 号在整个生育期 N3 处理条件下株高最高，且显著高于其他施氮处理，说明增施氮肥更有利于其增加株高。



注：**A.** 苗期；**B.** 初花期；**C.** 盛花期；**D.** 灌浆期；**E.** 成熟期；柱上不同字母表示差异显著（P<0.05）。下同。

Note: **A.** Seedling stage; **B.** Initial flowering stage; **C.** Full-bloom stage; **D.** Filling stage; **E.** Mature stage. Different letters above the bars indicate significant differences(P<0.05). The same below.

图 1 不同施氮水平对苦荞株高的影响

Fig.1 Effects of different nitrogen levels on plant height of tartary buckwheat

2.1.2 不同施氮水平对苦荞 SPAD 值的影响

图 2 看出，叶片 SPAD 值随着施氮量的增加而增加。开花后 7 天至成熟，叶片 SPAD 值表现为 N3>N2>N1>N0，且处理间均呈现显著性差异。总体来看，苦荞开花后叶片 SPAD 值均呈现先升高后降低的趋势，但不同施氮水条件下，不同生育时期及不同品种之间提高幅度均不同。开花后 14 天（盛花期）苦荞叶片 SPAD 值达到最大值。在同等条件下，黔苦 3 号叶片 SPAD 值高于西农 9940。

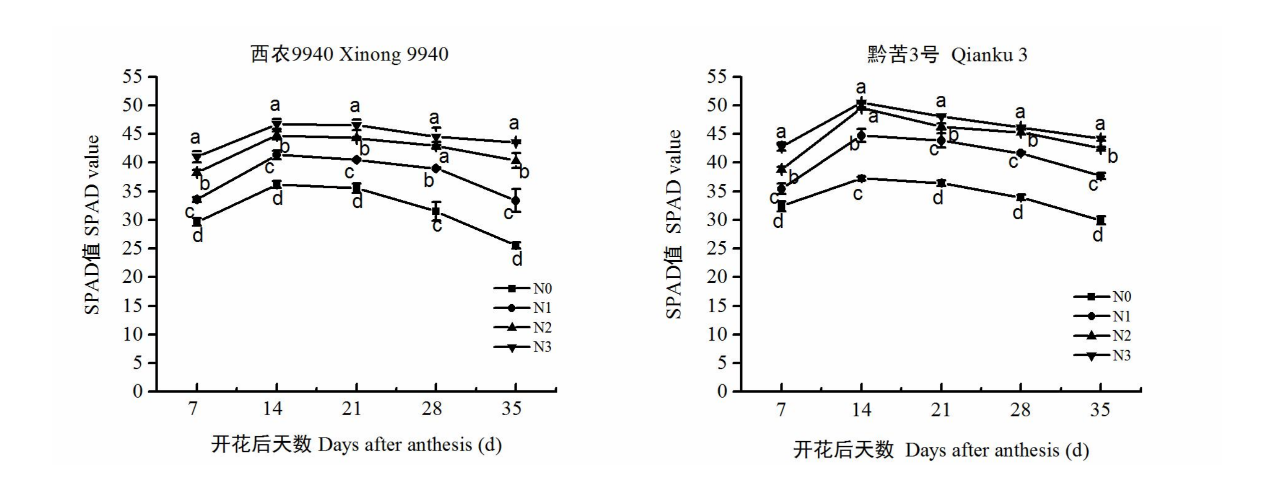


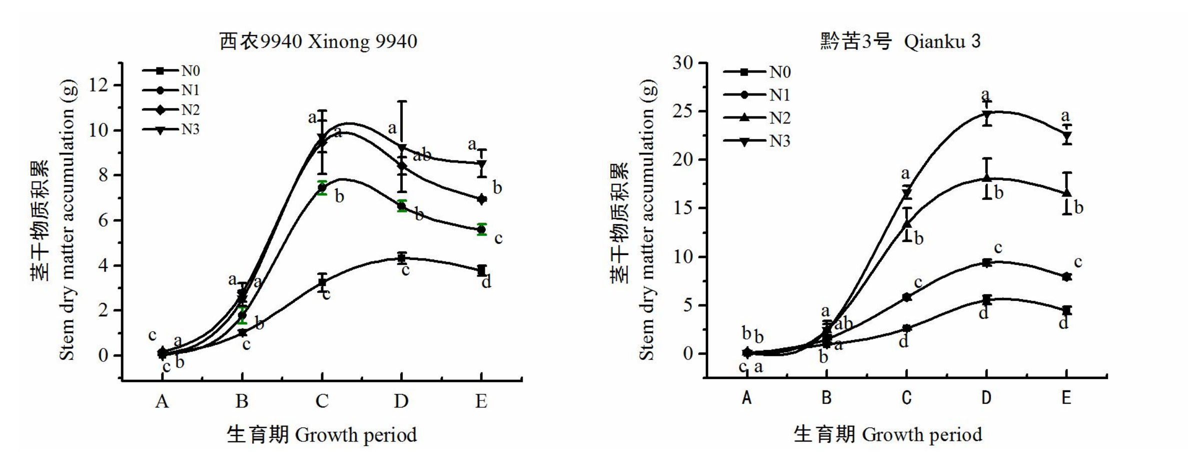
图 2　不同施氮水平对苦荞 SPAD 值的影响

Fig. 2　Effects of different nitrogen levels on SPAD value of tartary buckwheat

2.2 不同施氮水平对苦荞地上部干物质积累的影响

2.2.1 不同施氮水平茎干物质积累变化

图 3 看出，苦荞茎干物质积累均呈现出先增高后降低的“S”型变化趋势，施氮处理能显著提高茎干物质积累，且均表现出 N3>N2>N1>N0。随着生育期的延长，品种间在不同氮处理水平条件下表现并不相同。西农 9940 在 N1、N2、N3 处理下，茎干物质积累在盛花期达到最大值，分别为 7.447、9.474、9.728 g， N3 处理较 N1、N2 处理分别高出 30.6%和 2.6%，且 N2 和 N3 处理之间差异并不显著，但均显著高于 N1 处理。黔苦 3 号茎干物质积累在灌浆期达到最大值， N1、N2、N3 处理条件下茎干物质分别为 9.390、18.042、24.776 g，N3 处理较 N1、N2 分别高出 163.9%、37.3%，且处理之间差异显著。总体而言，黔苦 3 号茎干物质积累高于西农 9940，黔苦 3 号表现出更高的茎干物质积累特性。



注：**A.** 苗期；**B.** 初花期；**C.** 盛花期；**D.** 灌浆期；**E.** 成熟期。

Note: **A.** Seedling stage; **B.** Initial flowering stage; **C.** Full-bloom stage; **D.** Filling stage; **E.** Mature stage.

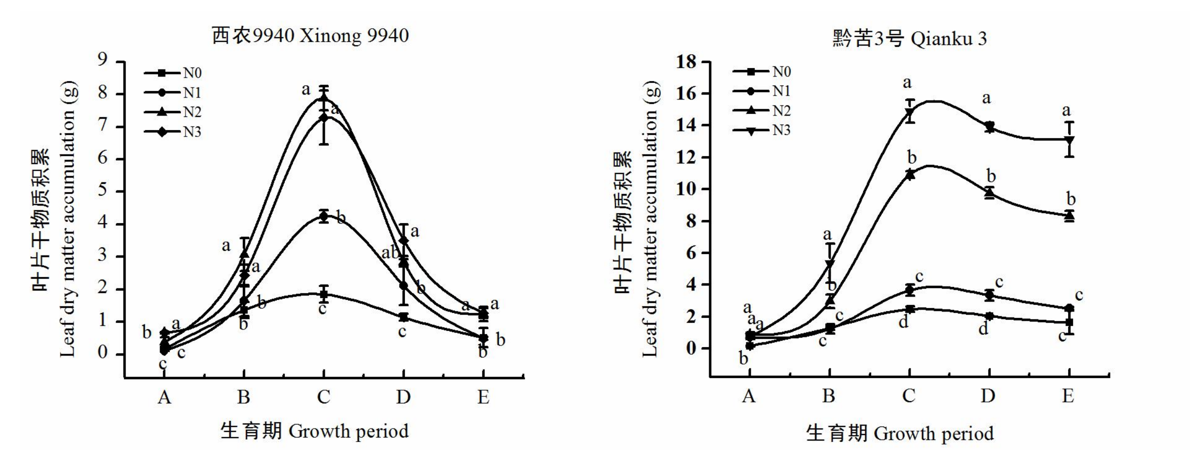
图 3　不同施氮水平苦荞茎干物质积累的变化

Fig. 3　Changes of stem dry matter accumulation in tartary buckwheat under different nitrogen levels

2.2.2 不同施氮水平叶干物质积累变化

图 4 看出，随着生育期的延长，苦荞叶干物质呈现出先增高后降低的趋势，并在盛花期达到最大值。但不同品种间、不同氮处理条件下苦荞叶干物质变化趋势并不相同。西农 9940 叶干物质

积累呈现出单峰曲线变化趋势，而黔苦 3 号呈现出“S”型趋势。在盛花期时，西农 9940 在 N1、N2、N3 处理条件下叶干物质积累量分别为 4.250、7.883、7.282 g，N2 处理最大，相比 N1、N3 分别高出 85.5%、8.3%，N2 和 N3 处理差异不显著，N3 与 N1 差异显著；黔苦 3 号在 N1、N2、N3 处理条件下叶干物质积累量分别为 3.662、10.938、14.890 g，N3 处理最大，较 N1、N2 处理分别高出 306.6%、36.1%，各处理之间差异显著。自盛花期后，叶干物质积累量下降，但两个品种下降幅度有差异。成熟期西农 9940 的 N0、N1、N2、N3 处理干物质积累量较最大时的盛花期分别下降了 72.1%、88.5%、84.2%、82.6%，而黔苦 3 号分别下降了 33.9%、31.1%、23.9%、11.9%，且在盛花期后。在盛花期以后，黔苦 3 号叶片干物质均大于西农 9940。



注：**A.** 苗期；**B.** 初花期；**C.** 盛花期；**D.** 灌浆期；**E.** 成熟期。

Note: **A.** Seedling stage; **B.** Initial flowering stage; **C.** Full-bloom stage; **D.** Filling stage; **E.** Mature stage.

图 4　不同施氮水平苦荞叶片干物质积累的变化

Fig.4　Changes of dry matter accumulation in leaves of tartary buckwheat under different nitrogen levels

2.2.3 不同施氮水平籽粒干物质积累的变化

表 1 可知，西农 9940 和黔苦 3 号除在盛花期对照处理对籽粒干物质积累差异不显著外，在施氮处理条件下，西农 9940 干物质积累量均显著高于黔苦 3 号，说明西农 9940 籽粒干物质积累效率显著高于黔苦 3 号。

表 1　不同施氮水平对苦荞籽粒干物积累的影响

Table 1　Effects of different nitrogen levels on dry matter accumulation of tartary buckwheat

生育期 Growth period	品种 Variety	N0	N1	N2	N3
盛花期 Full-bloom stage	西农 9940 Xinong 9940	0.47 3±0.26 1a	0.77 1±0.03 6a	0.87 4±0.03 9a	0.68 3±0.03 1a
	黔苦 3 号 Qianku 3	0.49 1±0.49 4a	0.36 8±0.03 8b	0.31 4±0.01 3b	0.22 1±0.02 2b
灌浆期 Filling stage	西农 9940 Xinong 9940	1.87 3±0.24 3a	3.84 2±0.19 9a	7.48 2±0.24 7a	4.99 7±0.25 4a
	黔苦 3 号 Qianku 3	0.82 5±0.31 3b	1.30 3±0.30 5b	1.62 9±0.65 5b	2.06 6±0.18 6b
成熟期 Mature stage	西农 9940 Xinong 9940	3.89 3±0.47 8a	7.66 4±0.23 9a	13.03 8±0.44 4a	8.63 4±0.13 4a
	黔苦 3 号 Qianku 3	2.12 8±0.07 8b	3.31 6±0.45 3b	3.83 4±0.19 2b	2.97 7±0.33 4b

注：表中数据为平均值±标准差。同一行不同字母表示差异显著（P<0.05）。下同。

Note: The value in the table are x±s. Different letters indicate significant differences (P<0.05). The same below.

2.2.4 不同施氮水平地上部总干物质积累变化

表 2 看出，黔苦 3 号地上部干物质积累高于西农 9940，尤其是在盛花期后，在 N2 和 N3 处理下，黔苦 3 号地上部积累显著高于西农 9940，说明在中高肥处理条件下，黔苦 3 号干物质积累能力高于西农 9940。

表 2　不同施氮水平对苦荞地上部总干物积累量的影响

Table 2　Effects of different nitrogen levels on the accumulation of total dry matter in the upper part of tartary buckwheat

生育期 Growth period	品种 Variety	N0	N1	N2	N3
苗期 Seedling stage	西农 9940 Xinong 9940	0.18 9±0.03 4a	0.21 3±0.01 8b	0.56 3±0.12 5b	0.73 2±0.02 6b
	黔苦 3 号 Qianku 3	0.20 3±0.03 0a	0.82 4±0.11 2a	1.02 7±0.17 6a	0.89 7±0.09 3a
初花期 Initial flowering stage	西农 9940 Xinong 9940	2.37 9±0.16 1a	3.44 0±0.82 6a	5.87 8±0.92 2a	4.96 4±0.52 8b
	黔苦 3 号 Qianku 3	2.28 3±0.14 6a	2.79 9±0.64 0a	5.42 2±1.01 3a	7.79 4±1.60 1a
盛花期 Full-bloom stage	西农 9940 Xinong 9940	5.54 7±0.58 7a	12.46 8±0.29 3a	18.23 1±1.65 0b	17.69 4±0.83 7b
	黔苦 3 号 Qianku 3	5.08 4±0.26 7a	9.50 9±0.10 1b	24.28 0±1.50 7a	31.56 2±0.41 4a
灌浆期 Filling stage	西农 9940 Xinong 9940	7.33 2±0.49 8a	12.58 5±0.59 7b	18.74 1±0.63 1b	17.77 9±1.92 8b
	黔苦 3 号 Qianku 3	8.42 1±0.58 1a	14.10 0±0.37 0a	29.56 7±2.90 4a	39.85 6±1.14 0a
成熟期 Mature stage	西农 9940 Xinong 9940	8.18 7±0.73 4a	13.75 3±0.25 4a	21.23 8±0.46 2b	18.44 1±0.61 1b
	黔苦 3 号 Qianku 3	8.26 2±0.47 6a	13.78 9±0.16 3a	28.68 2±2.40 6a	38.71 3±1.72 3a

2.3 不同施氮水平下苦荞地上部干物质转运率和对籽粒的贡献率

2.3.1 不同施氮水平对苦荞营养器官干物质转运率的影响

表 3 可知，对照未施氮处理，黔苦 3 号茎干物质转运率显著高于西农 9940；在 N1、N2、N3 处理条件下，西农 9940 茎、叶干物质转运率均显著高于黔苦 3 号，施氮显著提高了西农 9940 茎干物质转运率。

表 3　不同施氮水平对苦荞营养器官干物质转运率的影响

Table 3　Effects of different nitrogen levels on dry matter transport rate in vegetative organs of tartary buckwheat

	品种 Varieties	N0	N1	N2	N3
茎 Stem	西农 9940 Xinong9940	12.4±0.59b	24.8±1.77a	25.5±1.35a	12.2±2.25a
	黔苦 3 号 Qianku 3	19.0±0.58a	15.3±2.11b	8.5±1.49b	8.7±0.80b
叶 Leaf	西农 9940 Xinong9940	72.5±3.24a	88.5±1.15a	84.2±3.01a	82.5±1.58a
	黔苦 3 号 Qianku 3	33.7±5.92b	30.8±5.17b	23.9±3.36b	12.0±3.07b

2.3.2 不同施氮水平对苦荞营养器官干物质对籽粒贡献率的影响

图 8 看出，不同施氮条件下，苦荞营养器官干物质对籽粒的贡献率影响有一定的差异。施氮处理对西农 9940 茎干物质向籽粒的贡献率没有显著影响，但叶干物质对籽粒的贡献率随着施氮量的增加而增加，N3 处理的干物质对籽粒的贡献率显著高于 N0、N1、N2 处理，分别高出 34.63%、20.61%、18.76%。黔苦 3 号茎干物质对籽粒的贡献率 N3 处理最高，为 73.8%，显著高于 N0、N1、N2 处理，较其他处理高出 24.17%-34.22%；叶干物质对籽粒的贡献率 N2 最高，为 67.9%，与 N3 处理差异不显著，但显著高于 N0、N1 处理，分别高出 19.6%、23.64%。

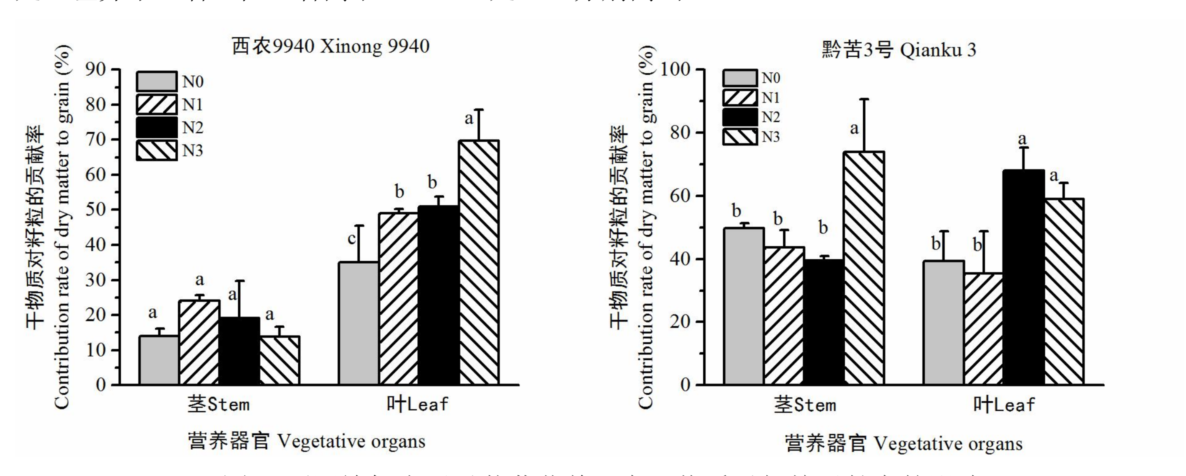


图 5 不同施氮水平对苦荞营养器官干物质对籽粒贡献率的影响

Fig. 5 Effects of different nitrogen levels on dry matter contribution of vegetative organs of tartary buckwheat

2.4 施氮量对籽粒灌浆参数的影响

由表 4 可知，两个苦荞有相同表现，随施氮量的增加，灌浆持续期增加，最大灌浆速率到达时间延长，但籽粒最大灌浆速率和平均灌浆速率降低，百粒重潜力随之降低，最终百粒重呈下降趋势。与黔苦 3 号相比，西农 9940 灌浆速率更快，灌浆持续期更短，粒重更大。

表 4 籽粒灌浆的 Logistic 特征参数及灌浆参数

Table 4 Logistic characteristic paramaters and grouting paramaters of grain filing

品种 Variety	施氮量 N supplying	a	b	c	Vmax	Tmax	V	T	T1	T2	T3	百粒重 100-grain weight
西农 9940 Xinong 9940	N0	2.49	13.8	0.22 8	1.42	11.5	0.81 9	26.3	5.7	11.6	8.2	2.45 7
	N1	2.40	16.5	0.22 6	1.36	12.4	0.80 0	26.5	6.6	11.7	8.2	2.40 1
	N2	2.39	19.4	0.21 6	1.29	13.7	0.78 2	27.8	7.6	12.2	8.6	2.34 5
	N3	2.35	16.4	0.21 2	1.25	13.1	0.76 7	28.3	7.0	12.4	8.8	2.30 1
黔苦 3 号 Qianku 3	N0	2.31	11.95	0.19 0	1.10	13.1	0.73 8	31.6	6.1	13.9	9.8	2.21 4
	N1	2.30	10.91	0.17 0	0.98	14.1	0.71 7	35.3	6.3	15.5	10.9	2.15 2
	N2	2.30	12.68	0.16 5	0.95	15.4	0.70 9	36.4	7.4	16.0	11.3	2.12 7
	N3	2.20	13.76	0.16 0	0.88	16.4	0.66 9	37.5	8.2	16.5	11.6	2.00 7

注：**a、b、c.** 籽粒灌浆的 Logistic 方程参数；**Vmax.** 最大灌浆速率；**Tmax.** 最大灌浆速率期；**V.** 平均灌浆速率；**T.** 灌浆持续期；**T1.** 渐增期；**T2.** 快增期；**T3.** 缓增期.

Note: **a, b, c.** Logistic equation parameters of grain filling; **Vmax.** Maximum grain filing rate; **Tmax.** Maximum grain

filling date; **V.** Mean grain filling rate; **T.** Filling duration; **T1.** Gradual increase stage; **T2.** Rapid increase stage; **T3.** Slight increase period.

由表 5 可知，西农 9940 和黔苦 3 号的最大灌浆速率（Vmax）和平均灌浆速率（V）与施氮量均呈极显著负相关（$P<0.01$）；西农 9940 的灌浆持续期（T）与施氮量呈显著正相关（$P<0.05$）；两个品种的渐增期（T_1）、快增期（T_2）和缓增期（T_3）与施氮量呈正相关，且快增期与施氮量呈显著正相关（$P<0.05$）。

表 5　施氮量与籽粒灌浆参数的相关性

Table 5　Correlation between nitrogen application rate and grain filling parameters

品种 Variety	Vmax	Tmax	V	T	T_1	T_2	T_3
西农 9940 Xinong 9940	-0.995**	0.832	-0.999**	0.964*	0.793	0.969*	0.947
黔苦 3 号 Qianku 3	-0.970*	0.999**	-0.961*	0.947	0.972*	0.951*	0.951*

注：**Vmax.** 最大灌浆速率；**Tmax.** 最大灌浆速率期；**V.** 平均灌浆速率；**T.** 灌浆持续期；**T1.** 渐增期；**T2.** 快增期；**T3.** 缓增期。表中 * 和 ** 分别表示在 0.05 和 0.01 水平上显著相关。

Note: **Vmax.** Maximum grain filing rate; **Tmax.** Maximum grain filling date; **V.** Mean grain filling rate; **T.** Filling duration; **T1.** gradual increase stage; **T2.** rapid increase stage; **T3.** Slight increase period. * and ** indicate significant correlations at the 0.05 and 0.01 levels.

2.5　不同施氮水平对苦荞产量及产量构成因素的影响

表 6 可知，施氮量对苦荞的产量及其构成因素有显著影响，单株花簇数、单株粒数、单株粒重和产量等均高于未施氮处理，且随施氮量的增加呈现先上升后下降的趋势，均在 180 kg·hm^{-2} 施氮水平达到最大值，与其他施氮处理间差异均达显著水平；而千粒重显著低于未施氮处理，随施氮量增加呈下降趋势。施氮量对籽粒产量及构成因素的影响因不同品种存在差异。西农 9940 的产量最高达 1 650.0 kg·hm^{-2}，比对照提高了 91.1%。黔苦 3 号的单株花簇数随着施氮量的增加而增加，270 kg·hm^{-2} 施氮处理的单株花簇数最高，与其他处理差异显著；单株粒数在 270 kg·/hm^{-2} 施氮量时达到最高值，与不施氮处理达到显著差异水平，与 90、180 kg·hm^{-2} 施氮处理差异不显著；单株粒重随施氮量的增加呈先上升后下降的趋势，在 180 kg·hm^{-2} 施氮水平达到最大值，与不施氮和 270 kg·hm^{-2} 施氮处理差异显著，与 90 kg·hm^{-2} 施氮处理差异不显著；产量均随施氮量的增加呈现先上升后下降的趋势，在 90 kg·hm^{-2} 施氮水平达到最大值，为 616.7 kg·hm^{-2}，比对照提高 90.7%，与其他施氮处理间差异均达到显著水平。

表 6　不同施氮水平对不同品种苦荞产量及产量构成因素的影响

Table 6　Effects of different nitrogen levels on yield and yield components of tartary buckwheat

品种 Variety	处理 Treatment	单株花簇 Flower cluster per plant	单株粒数 Grains per plant	单株粒重 Grain weight per plant (g)	千粒重 1000-grain weight (g)	产量 Yield （ kg·hm^{-2}）
西农 9940 Xinong 9940	N0	39.5±8.2c	202.8±57.4c	3.89 3±0.47 8d	24.57±0.05a	863.3±236.7c
	N1	77.3±4.2b	329.1±43.4b	7.66 4±0.23 9c	24.01±0.05b	1133.3±57.7bc
	N2	113.0±33.9a	433.4±22.1a	13.03 8±0.44 4a	23.45±0.11c	1650.0±213.8a
	N3	57.2±2.8bc	346.8±19.4b	8.63 4±0.13 4b	23.01±0.04d	1286.7±119.3b
黔苦 3 号 Qianku 3	N0	20.7±1.9c	70.1±7.9b	2.12 8±0.07 8c	22.14±0.15a	323.3±25.2d
	N1	35.2±6.6b	153.9±13.8a	3.31 6±0.45 3ab	21.52±0.03b	616.7±28.9a
	N2	36.4±4.2b	175.0±50.5a	3.83 4±0.19 2a	21.27±0.05c	546.7±50.3b

	N3	46.3±5.1a	183.7±42.5a	2.97 7±0.33 4b	20.07±0.08c	406.7±23.1c

注：表中数据为平均值±标准差，同一行不同字母表示差异显著（$P<0.05$）。

Note: The value in the table are x±s，Different letters indicate significant differences ($P<0.05$).

对 2 个品种的产量构成因素进行了相关性分析（表 7），结果表明，施氮量与单株花簇数、单株粒数、单株粒重、产量均呈正相关，与千粒重呈极显著负相关。随施氮量增加，单株花簇数、单株粒数的增加，并不会引起单株粒重降低，而显著降低了千粒重。两品种的单株粒数、单株粒重与产量均达显著或极显著水平，其相关系数大小依次为单株粒重、单株粒数，说明单株粒重对苦荞产量水平的提高发挥了十分重要的作用。

表 7　施氮量与产量及其主要构成因素的相关性分析

Table 7　Correlation analysis of grain yields and yield main components

品种 Variety		相关系数 Correlation coefficient					
		N	X1	X2	X3	X4	Y
西农 9940 Xinong 9940	N	1					
	X1	0.363	1				
	X2	0.728	0.902	1			
	X3	0.673	0.926	0.985*	1		
	X4	-0.998**	-0.415	0.765	-0.713	1	
	Y	0.703	0.895	0.973*	0.996**	-0.740	1
黔苦 3 号 Qianku 3	N	1					
	X1	0.955*	1				
	X2	0.900	0.946	1			
	X3	0.552	0.597	0.825	1		
	X4	-0.961*	-0.946	-0.809	-0.347	1	
	Y	0.175	0.363	0.587	0.837	-0.043	1

注：**N.** 施氮量；**X1.** 单株花簇数；**X2.** 单株粒数；**X3.** 单株粒重；**X4.** 千粒重；**Y.** 籽粒产量。表中 * 和 **分别表示在 0.05 和 0.01 水平上显著相关。

Notes: **N.** N supplying; **X1.** Flower cluster per plant; **X2.** Grains per plant; **X3.** Grain weight per plant; **X4.** 1000-grain weight; **Y.** Yield. * and ** indicate significant correlations at the 0.05 and 0.01 levels.

3　结论与讨论

株高、叶绿素等是反映作物生长特征的重要指标，对于判断作物干物质积累、氮素营养的供应状况有着重要作用（Masoni et al.，2007；李杰等，2017）。许多研究表明（郭天财等，2007；刘科等，2018）叶片叶绿素随施氮量的增加而呈现上升趋势，随籽粒灌浆进程呈逐渐降低的趋势，这与本研究结果 SPAD 值开花后 14 d 达到最大值之后下降相同，且高氮肥延缓叶绿素的降解速率，延长叶片的功能期（赵凯男等，2019），促进株高生长，更有利于苦荞叶片光合产物的输出，促进籽粒高产；但过量氮肥处理下的荞麦叶片 SPAD 值、株高的增加，反而使叶大且薄，易变黄干枯，光合时间反而缩短且易倒伏，单株粒重、产量反而下降。

籽粒产量的形成主要依赖于花后光合器官叶片等光合产物的积累以及茎叶营养器官积累干物质的转移（鱼欢等，2010）。李世清等（2003）和倪永静等（2017）研究适量增施氮肥能够促进开花后营养器官积累干物质向籽粒转移。施氮肥能影响干物质的积累与转运（Subedi et al.，2010）有利于产量的形成。本研究结果表明，施氮处理显著提高茎、叶、籽粒、地上部干物质的积累，随生育期的推进，基本呈“S”型变化趋势，且初花期前茎、叶、地上部干物质积累速率缓慢，初花期后快速增长达到最大值，之后略有下降，变化规律与前人研究相似（向达兵等，2017；李国强

等，2009）。施氮显著影响了茎叶干物质的转运率，且叶干物质转运率高于茎干物质转运率但因品种不同而有差异。西农 9940 的茎叶干物质转运率随着施氮量的增加呈先上升后下降的趋势，过量施氮促进无限花序的苦荞分支生长旺盛，导致主茎叶片早衰，一部分干物质转移到新叶，降低了向籽粒转运的干物质；对氮素响应更敏感的黔苦 3 号因生育期延长，茎叶徒长贪青，茎叶转运率呈逐渐下降。当施氮量增加到 270 kg·hm^{-2} 时，造成苦荞贪青晚熟，茎叶干物质积累量增加，籽粒灌浆延迟，多空瘪籽粒造成产量下降。苦荞产量与干物质积累量有密切关系，干物质积累量越高，籽粒产量越高，施氮促进干物质积累，进而促进苦荞产量增加。汪燕等（2017）利用 20 个苦荞品种为材料，以不施氮为对照，以施氮量 60 kg·hm^{-2} 为处理将苦荞资源分为具有高产潜力的耐低氮品种（产量>1.2 t·hm^{-2}）、中产品种（产量 1.0~1.2 t·hm^{-2}）和低产品种（产量<1.0 t·hm^{-2}）等 3 种类型，并表明不施氮处理降低株高、减少分枝数、降低干物质量、降低产量，这与本研究结果一致，改善苦荞植株的植物学性状，可提高苦荞的产量。

苦荞籽粒质量是灌浆速率和灌浆持续时间的函数。何光华等（1994）认为干物质积累主要受灌浆速率的影响，随着籽粒的发育，灌浆持续时间对干物质积累的影响逐渐减弱，对灌浆速率的影响逐渐增强。本研究结果表明，施氮肥主要影响灌浆速率和灌浆持续时间来显著影响籽粒干物质积累，增施氮肥反而显著降低籽粒灌浆速率，延长灌浆时间，这或许与苦荞耐贫瘠的特点有关，施氮肥促进苦荞营养器官旺盛生长，茎叶对籽粒的转运率下降，具体机制还需进一步研究。

适宜的氮肥供应可以显著影响作物的产量及产量构成，最终提高其产量（蒋会利等，2010；李升东等，2012）。苦荞单产由单株粒重、单株粒数和千粒重构成，单株粒重、单株粒数的增加对苦荞高产具有重要作用。本研究结果表明，施氮量对苦荞单株花簇数、单株粒数、单株粒重和产量有显著影响呈正相关，均在 180 kg·hm^{-2} 施氮水平达到最大值；而千粒重显著低于未施氮处理，随施氮量增加呈下降趋势呈极显著负相关。两品种的单株粒数、单株粒重与产量的相关性大小依次为单株粒重大于单株粒数，说明单株粒重对苦荞产量水平的提高发挥了十分重要的作用在，这与前人研究结果一致（刘昌敏等，2018）。侯迷红等（2013）研究中，内蒙古通辽地区施氮量在 60 kg·hm^{-2} 时，荞麦增产达 84%。本研究中，黄土高原旱作区西农 9940 在施氮量为 180 kg·hm^{-2} 时获得最高产量 1 650 kg·hm^{-2}，比对照提高了 91.1%；黔苦 3 号在施氮量为 90 kg·hm^{-2} 时获得最高产量 616.7 kg·hm^{-2}，比对照提高 90.7%。苦荞的产量较低一般为 1 500~1 800 kg·hm^{-2}（宋毓雪等，2014），这与西农 9940 产量结果一致，但黔苦 3 号产量远远低于一般产量，或许是因为适宜于南方的黔苦 3 号，在黄土高原地区表现出生育期延长，霜降来临时，还未完全成熟导致产量低，因此本研究结果建议向北方地区引南方品种应早播。通过适宜的栽培措施施氮提高苦荞植株干物质积累量，显著增加苦荞产量，应考虑苦荞基因型差异，以实现苦荞高产。

参考文献：

BAI WM, ZHANG WL, HOU YF, et al., 2019. Effects of different nitrogen treatments on the dry matter accumulation, agronomic traits and yield of buckwheat[J]. J China Agric Univ, 24(02): 38-47. [白文明，张伟丽，侯亚方，等. 不同氮肥处理对荞麦干物质积累、农艺性状及产量的影响[J]. 中国农业大学学报，2019，24(02)：38-47.]

CHEN JF, JIANG HY, PAN HY, et al., 2010. Effects of nitrogen rates on post-anthesis accumulation and transfer of dry matter and nitrogen in rice with differential nitrogen nutrition efficiency[J]. Chin Agric Sci Bull, 26(06): 150-156. [程建峰，蒋海燕，潘晓云，等. 施氮量对不同氮效率水稻花后干物质和氮积累与转运的影响[J]. 中国农学通报，2010，26(06)：150-156.]

DAI MH, TAO HB, WANG LN, et al., 2008. Effects of different nitrogen managements on dry matter accumulation, partition and transportation of spring maize（*Zea mays* L.）[J]. Acta Agric Boreal-Sin, 23(1): 154-157.[戴明宏，陶洪斌，王利纳，等, 2008. 不同氮肥管理对春玉米干物质生产、分配及

转运的影响[J]. 华北农学报，23(1)：154-157.]
EHDAIE B, WAINES JG, 2001. Sowing date and nitrogen rate effects on dry matter and nitrogen partitioning in bread and durum wheat[J]. Field Crop Res, 73(1): 47-61.
GUO TC, SONG X, MA DY, et al., 2007. Effects of nitrogen application rates on photosynthetic characteristics of flag leaves in winter wheat (*Triticum aestivum* L.)[J]. Acta Agron Sin, 12: 1977-1981. [郭天财，宋晓，马冬云，等. 施氮水平对冬小麦旗叶光合特性的调控效应[J]. 作物学报，2007，12：1977-1981.]
HU C, CAO ZP, CHEN YF, et al., 2008. Dynamics of soil microbial biomass carbon, mineral nitrogen and nitrogen mineralization in long-term field experiment, Northern China[J]. J Sustain Agric, 32 (2): 287-302.
HE GH, ZHENG JK, YIN GD, et al., 1994. Study on grain filing characteristics of rice and their correlation[J]. J Southwest Agric Univ, 16 (4): 380-382. [何光华，郑家奎，阴国大，等，1994. 水稻籽粒灌浆特性及相关性研究[J]. 西南农业大学学报，16(4)：380-382.]
HOU MH, FAN F, JI FH, et al., 2017. Effects of nitrogen fertilizer rate on dry matter accumulation and distribution of buckwheat in Hure County, China[J]. J Inner Mongolia Univ Nationalities (Nat Sci Ed), 32(1): 65-69.[侯迷红，范富，纪凤辉，等，2017. 氮肥用量对库伦旗荞麦干物质积累与分配的影响[J]. 内蒙古民族大学学报(自然科学版)，32(1)：65-69.]
HOU MH, FAN F, SONG GY, et al., 2013. Effects of nitrogen application rate on yield and fertilizer-nitrogen utilization efficiency in *Fesculentum Moench*[J]. Crops, (1): 102-105. [侯迷红，范富，宋桂云，等，2013. 氮肥用量对甜荞麦产量和氮素利用率的影响[J]. 作物杂志，(1)：102-105.]
JIANG HL, WEN XX, LIAO YC, 2010. Effects of nitrogen application on winter wheat yield and translation of soil NO_3—N[J]. J Plant Nutr Fert, 16(1): 237-241. [蒋会利，温晓霞，廖允成，2010. 施氮量对冬小麦产量的影响及土壤硝态氮运转特性[J]. 植物营养与肥料学报，16(1)：237-241.]
LI GQ, TANG L, ZHANG WY, et al., 2009. Dynamic analysis on response of dry matter accumulation and partitioning to nitrogen fertilizer in wheat cultivars with different plant types[J]. Acta Agron Sin, 35(12): 2258-2265. [李国强，汤亮，张文宇，等，2009. 不同株型小麦干物质积累与分配对氮肥响应的动态分析[J]. 作物学报，35(12)：2258-2265.]
LI HM, SHAN F, BIAN JS, et al., 2006. Effects of variety and fertilizer on the yield and the utilization of water and fertilizer of tartary buckwheat[J]. Chin J Eco-Agric, 14(4): 253-255. [李红梅，陕方，边俊生，等，2006. 品种与肥料对苦荞麦产量及水肥利用的影响研究[J]. 中国生态农业学报，14(4)：253-255.]
LI J, FENG YH, MOU YH, et al., 2017. Construction and application effect of the leaf value model based on SPAD value in rice[J]. Sci Agric Sin, 50(24): 4714-4724. [李杰，冯跃华，牟桂婷，等，2017. 基于 SPAD 值的水稻施氮叶值模型构建及应用效果[J]. 中国农业科学，50(24)：4714-4724.]
LIU K, LU J, GAO MT, et al., 2018. Effects of different nitrogen treatments on the relationship between flag leaves spectral characteristic and SPAD and IPAR in hybrid rice varieties[J]. J Nucl Agric Sci, 32(02): 362-369. [刘科，陆键，高梦涛，等，2018. 施氮量对杂交水稻叶片光谱特征、SPAD 值和光能拦截率关系的影响[J]. 核农学报，32(02)：362-369.]
LIU QH, SUN ZW, XIN CY, et al., 2016. Effects of silicon on dry matter remobilization,distribution an grain yield of rice under high air temperature[J]. J Nucl Agric Sci, 30(09): 1833-1839. [刘奇华，孙召文，信彩云，等，2016. 孕穗期施硅对高温下扬花灌浆期水稻干物质转运及产量的影响[J]. 核农学报，30(09)：1833-1839.]
LIN RF, 1994. Chinese buckwheat[M]. Beijing: China Agricultural Press: 19-28. [林汝法，1994. 中国荞麦[M]. 北京：中国农业出版社：19-28.]

LI SQ, SHAO MA, LI ZY, et al., 2003. Review of characteristics of wheat grain fill and factors to influence it[J]. Acta Bot Boreal-Occident Sin, (11): 2030-2038. [李世清，邵明安，李紫燕，等，2003. 小麦籽粒灌浆特征及影响因素的研究进展[J]. 西北植物学报，(11)：2030-2038.]
LI SD, WANG FH, SI JS, et al., 2012. Effects of nitrogen application patterns on yield of winter wheat and nitrogen use efficiency[J]. J Nucl Agric Sci, 26(2): 403-407. [李升东，王法宏，司纪升，等，2012. 氮肥管理对小麦产量和氮肥利用效率的影响[J]. 核农学报，26(2)：403-407.]
LIU CM, ZHANG Y, WANG Y, et al., 2018. Influence of fertilizer amount on yield and qualiy of tartary buckwheat[J]. Hubei Agric Sci, 57(1): 21-23. [刘昌敏，张余，王雨，等，2018. 施肥量对九江苦荞产量和品质的影响[J]. 湖北农业科学，57(1)：21-23.]
MASONI A, ERCOLI L, MARIOTTI M, et al., 2007. Post-anthesis accumulation and remobilization of dry matter, nitrogen and phosphorousin durum wheat as affected by soil type[J]. Eur J Agron, 26(3): 179-186.
MORIGENGCHAOGETU, WANG PK, GAO JF, et al., 2010. Genetic diversity of tartary buckwheat germplasms[J]. Acta Bot Boreal Occident Sin, 30(2): 255-261. [莫日更朝格图，王鹏科，高金锋，等，2010. 苦荞地方种植资源的遗传多样性分析.西北植物学报，30(2)：255-261.]
NI YJ, HUANG JY, ZHAO JL, et al., 2017. Effects of different nitrogen application methods on dry matter accumulation and transportation in Guomai 301[J]. Guangdong Agric Sci, 44(7): 8-12. [倪永静，黄建英，赵敬领，等，2017. 不同施氮方式对国麦 301 干物质累积和转运的影响[J]. 广东农业科学，44(7)：8-12.]
ROY A, SINGH KP, 2003. Dynamics of microbial biomass and nitrogen supply during primary succession on blast furnace slag dumps in dry tropics[J]. Soil Bio Biochem, 35: 365-372.
SCHULTE AFU’M ERLE EG, KAUL HP, KRUSE M, et al., 2005. Yield and nitrogen utilization efficiency of the pseudocereals amaranth, quinoa, and buckwheat under differing nitrogen fertilization[J]. Eur J Agron, 22(1): 95-100.
SUI PX, YOU DB, AN JP, et al., 2018. Effects of straw management and nitrogen application on spring maize yield, dry matter and nitrogen accumulation and transfer[J]. J Plant Nutr Fert, 24(2): 316-324. [隋鹏祥，有德宝，安俊朋，等，2018. 秸秆还田方式与施氮量对春玉米产量及干物质和氮素积累、转运的影响[J]. 植物营养与肥料学报，24(2)：316-324.]
SONG YX, HU JJ, KONG DZ, et al., 2014. Effects of different ratios of nitrogen, phosphorus and potassium on yield and quality of tartary buckwheat[J]. J Anhui Agric Univ, 41(3): 411-415. [宋毓雪，胡静洁，孔德章，等，2014. 不同氮、磷、钾水平对苦荞产量和品质的影响[J]. 安徽农业大学学报，41(3)：411-415.]
SUBEDI KD, MA BL, XUE AG, 2010. Planting date and nitrogen effects on grain yield and protein content of spring wheat[J]. Crop Sci, 47(1): 36-44.
TANG C, LEI YT，LU GX, et al., 2016. Effects for the different proportion of nitrogen, phosphorus and potassium on the growth process and agronomic traits of buckwheat[J]. J Northern Agric, 44(4): 20-26. [唐超，雷雨田，路耿新，等，2016. 氮磷钾配施对荞麦生育进程及农艺性状的影响[J]. 北方农业学报，44(4)：20-26.]
WANG Y, LIANG CG, SUN YH, et al., 2017, The yield and quality of tartary buckwheat varieties and the response to low nitrogen[J]. J Guizhou Norm Univ (Nat Sci), 35(06): 66-73. [汪燕，梁成刚，孙艳红，等，2017. 不同苦荞品种的产量与品质及其对低氮的响应[J]. 贵州师范大学学报(自然科学版)，35(06)：66-73.]
XIANG DB, ZHAO JL, HU LX, et al., 2013. Effect of nitrogen application on growth, yield and quality of tartary buckwheat[J]. Guangdong Agric Sci, 40(14): 57-59. [向达兵，赵江林，胡丽雪，等，2013. 施

氮量对苦荞麦生长发育、产量及品质的影响[J]. 广东农业科学，40(14)：57-59.]
XIANG DB, YANG LL, LI J, et al., 2015. Effect of fertilization application on yield, economic benefit and fertilizer efficiency of tartary buckwheat[J]. J Henan Agric Sci, 44(4): 83-87. [向达兵，杨玲玲，李静，等，2015. 施肥对苦荞麦产量、经济效益及肥效的影响[J]. 河南农业科学，44(4)：83-87.]
XIANG DB, SONG Y, FAN Y, et al., 2017. Analysis of dry matter and NPK accumulation in tartary buckwheat[J]. J Southwest Univ (Nat Sci Ed), 39(09): 7-12. [向达兵，宋月，范昱，等，2017. 苦荞干物质及氮、磷、钾养分积累动态分析[J]. 西南大学学报(自然科学版)，39(09)：7-12.]
YU H, YANG GH, WANG ZJ, 2010. Nitrogen rate and timing considerations on yield and physiological parameters of corn canopy[J]. J Plant Nutr Fert, 16(02): 266-273. [鱼欢，杨改河，王之杰，2010. 不同施氮量及基追比例对玉米冠层生理性状和产量的影响[J]. 植物营养与肥料学报，16(02)：266-273.]
ZHAO G, TANG Y, WANG AH, et al. 2001. Buckwheat resources and its medicinal value in China[J]. Chin Wild Plant Resour, 20(2) : 31-32. [赵钢，唐宇，王安虎，等，2001. 中国的荞麦资源及其药用价值[J].中国野生植物资源，20(2)：31-32.]
ZHAO KN, CHANG XH, WANG DM, et al., 2019. Effects of tridimensional uniform sowing and fertilizer on grain and physiological characteristics of winter wheat[J]. Crops, (1): 103-110. [赵凯男，常旭虹，王德梅，等，2019. 立体匀播和施氮量对冬小麦产量构成及旗叶光合性能的影响.作物杂志，(1)：103-110.]
ZHANG YC, YANG M, ZHOU QQ, et al., 2018. Effects of shading after anthesis under different nitrogen application rates on dry matter and nitrogen accumulation and translocation in winter wheat[J]. Acta Agric Boreal-Sin, 33(3): 203-209. [张玉春，杨敏，周齐齐，等，2018. 不同氮肥用量条件下花后遮光对冬小麦干物质和氮素积累与转运的影响[J]. 华北农学报，33(3)：203-209.]
ZHAO X, DENG Y, CHEN SF, et al., 2016. Effects of nitrogen combined with phosphate applying on yield and water and fertilizer use efficiency of tartary buckwheat in dryland[J]. Acta Agric Boreal-Sin, 31(S1): 350-355. [赵鑫，邓妍，陈少锋，等，2016. 氮磷肥配施对旱地苦荞产量及水肥利用率的影响[J]. 华北农学报，31(S1)：350-355.]
ZHANG MW, XIE XD, WANG CY, et al., 2016. Effect of cultivar and nitrogen fertilizer application on grain yield and nitrogen use efficiency of wheat at different planting environments[J]. J Tritic Crops, 36(10): 1362-1368. [张美微，谢旭东，王晨阳，等，2016. 不同生态条件下品种和施氮量对冬小麦产量及氮肥利用效率的影响[J]. 麦类作物学报，36(10)：1362-1368.]
ZHANG WL, YANG QH, XIA MJ, et al., 2019. Effects of nitrogen level on the physicochemical properties of tartary buckwheat (*Fagopyrum tataricum* (L.) Gaertn.) starch[J]. Int J Biol Macromol, (129): 799-808.
ZHANG LL, SUN SJ, CHEN ZJ, et al., 2018. Effects of different colored plastic film mulching and planting density on dry matter accumulation and yield of spring maize[J]. Chin J Appl Ecol, 29(1): 113-124. [张琳琳，孙仕军，陈志君，等，2018. 不同颜色地膜与种植密度对春玉米干物质积累和产量的影响[J]. 应用生态学报，29(1)：113-124.]
ZHANG J, ZHANG YL, WU TH, et al., 2011. Effect of nitrogen fertilizer ratio of base and topdressing on photosynthesis characteristics, dry matter accumulation and its distribution in wheat with super high yield[J]. J Tritic Crops, 31(3): 508-513. [张娟，张永丽，武同华，等，2011. 氮肥底追比例对超高产栽培中小麦光合特性和干物质积累与分配的影响[J]. 麦类作物学报，31(3)：508-513.]
ZHOU L, WANG CH, LI FC, et al., 2012. Analysis of dry matter accumulation and translocation for winter wheat cultivars with different yields on dryland[J]. Acta Ecol Sin, 32(13): 4123-4131. [周玲，王朝辉，李富翠，等，2012. 不同产量水平旱地冬小麦品种干物质累积和转移的差异分析[J]. 生态学报，32(13)：4123-4131.]

ZHU QS, CAO XZ, LUO YQ, 1988. Growth analysis on the process of grain filling in rice[J]. Acta Agron Sinica, (3): 182-193. [朱庆森，曹显祖，骆亦其，1988. 水稻籽粒灌浆的生长分析[J]. 作物学报，(3)：182-193.]